



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STUDIE PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNY

FEASIBILITY STUDY OF THE PUMPED STORAGE POWER STATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Račoch

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ALEŠ DRÁB, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tomáš Račoch
Název	Studie přečerpávací vodní elektrárny
Vedoucí práce	doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- Odborná literatura a předpisy z oboru využití vodní energie, hydrauliky, hydrologie a energetiky.
- Specifikace základních parametrů navrhované PVE.
- Firemní materiály dodavatelů stavební a technologické části.
- Mapové podklady.
- Výkresová dokumentace.
- Hydrologické údaje.
- Měření provozních veličin.
- Manipulační řády.
- Územně plánovací dokumentace.
- Geologické podklady.
- Fotodokumentace zájmové lokality.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem práce je studie přečerpávací vodní elektrárny (PVE) v lokalitě Střekov na Labi. Řešení bude vycházet ze specifikace základních parametrů PVE (viz podklady) a bude zahrnovat zpracování jedné varianty stavební a technologické části strojovny PVE. Výstupy práce budou obsahovat tyto přílohy:

- průvodní a technická zpráva,
- situace širších vztahů,
- celková situace PVE,
- dva svislé řezy strojovnou PVE,
- půdorysný řez strojovnou PVE,
- hydraulické a hydroenergetické výpočty,
- fotodokumentace.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem studie přečerpávací vodní elektrárny v Lokalitě Střekov na Labi. Cílem práce je návrh jedné varianty stavební a technologické části strojovny. Studie je rozdělena do několika částí, skládá se z technické zprávy, hydraulických výpočtů, výkresové dokumentace a fotodokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přečerpávací vodní elektrárna, reverzní Francisova turbína, strojovna, motorgenerátor

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the feasibility study of the pumped storage power station in Střekov na Labi. The aim of the thesis is the design of one variant of the building and technological part of the power house. The study is divided into several parts, consisting of engineering report, hydraulic calculations, drawing documentation and photo-documentation.

KEYWORDS

Pumped storage power station, Francis reversible turbine, power house, motor-generator

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

RAČOCH, Tomáš. *Studie přečerpávací vodní elektrárny*. Brno, 2017. 51 s., 5 příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Dráb, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

Tomáš Račoch
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji doc. Ing. Aleši Drábovi, Ph.D. za odborné rady, cenné připomínky a vstřícný přístup při zpracování této bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za podporu při studiu.

OBSAH

1. CÍLE PRÁCE	10
2. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ	11
3. ÚVOD DO PROBLEMATIKY PVE.....	12
3.1. ZÁKLADNÍ USPOŘÁDÁNÍ PVE	12
3.2. PROVOZ PVE [1]	14
3.3. USPOŘÁDÁNÍ PVE.....	15
3.4. ÚČINNOST PVE	17
4. CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉ LOKALITY	18
4.1. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ.....	18
4.2. VODNÍ DÍLO STŘEKOV	19
4.2.1. Jezová zdrž	19
4.2.2. Plavební zařízení.....	20
4.3. HYDROLOGICKÉ ÚDAJE	21
4.4. GEODETICKÉ PODKLADY	22
4.5. GEOLOGICKÉ POMĚRY	22
5. NAVRŽENÉ TECHNICKÉ ŘEŠENÍ.....	24
5.1. ÚČEL A PŘEDMĚT STAVBY	24
5.2. ČLENĚNÍ STAVBY	25
6. POPIS STAVEBNÍ ČÁSTI PVE	26
6.1. SO 1 – VTOKOVÝ OBJEKT.....	26
6.2. SO 2 – PVE – SPODNÍ STAVBA	26
6.3. SO 3 – PVE – HORNÍ STAVBA.....	28
6.4. SO 4 – TLAKOVÉ PŘIVADĚČE	28
6.5. SO 5 – KABELOVÝ KANÁL.....	28
6.6. SO 6 – PROVOZNÍ BUDOVA.....	29
6.7. SO 7 – TECHNICKÁ BUDOVA	29
6.8. SO 8 – PŘÍJEZDOVÁ KOMUNIKACE A ZPEVNĚNÉ PLOCHY.....	29
7. TECHNOLOGICKÁ ČÁST PVE	30
7.1. PS 01 - STROJNÍ ČÁST	30

7.1.1. Turbína s příslušenstvím	30
7.1.2. Kulový uzávěr.....	31
7.1.3. Vodní hospodářství.....	32
7.2. PS 02 - ELEKTROČÁST	32
7.2.1. Motorgenerátor.....	32
7.2.2. Transformátor	32
7.2.3. Zapouzďené vývody.....	32
7.2.4. Generátorový vypínač	32
7.2.5. Kabelový vývod 400 kV	33
7.3. PS 03 - VTOKOVÝ OBJEKT	33
8. ZÁVĚR.....	34
9. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	35
10. SEZNAM OBRÁZKŮ	36
11. SEZNAM TABULEK.....	37
12. SEZNAM PŘÍLOH.....	38

1. Cíle práce

Předmětem této práce je návrh strojovny přečerpávací vodní elektrárny (PVE) na levém břehu řeky Labe v blízkosti zdymadla Střekov.

Návrh je zpracován na základě snahy o využití hydroenergetického potenciálu dané lokality pro účel vykrývání špičkové spotřeby energie v době okamžité zvýšené potřeby při změnách zatížení sítě v elektrizační soustavě.

Cílem práce je zpracování jedné varianty stavební a technologické části strojovny PVE. Řešení zahrnuje 4 turbosoustrojí umístěná ve strojovně šachtového typu s horní stavbou v blízkosti břehové hrany střekovské jezové zdrže. Jezová zdrž bude sloužit jako dolní nádrž elektrárny. Dolní vtokový objekt bude v podobě krátkého odpadního tunelu. Spojení strojovny s horní nádrží umístěnou v údolním reliéfu Podlešínské pláně bude provedeno raženým vysokotlakým přivaděčem. Přečerpávací vodní elektrárny v tomto uspořádání reprezentují například rakouská PVE Kühltai nebo PVE Štěchovice v České republice.

Výstupy práce budou obsahovat výkresovou dokumentaci a technickou zprávu doplněnou hydraulickými a hydrotechnickými výpočty a fotodokumentací.

2. Přehled výchozích podkladů

- [1] DRÁB, Aleš. PVE PODLEŠÍN – Možnosti hydroenergetického využití lokality. Brno, 2016
- [2] HUŠEK, Josef. Přecherpací vodní elektrárny. Státní nakladatelství technické literatury. Praha, 1963
- [3] Höll, J. a kol. 1997. ČEZ a. s., Přecherpací vodní elektrárna Dlouhé Stráně v Jeseníkách, ČEZ a. s.
- [4] MATOUŠEK, A. Výroba elektrické energie. Výroba elektrické energie. Brno: FEKT VUT v Brně, 2003. s.
- [5] Vodní hospodářství a ochrana vod. Hydrogeologický informační systém VÚV TGM: Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.MASARYKA, Veřejná výzkumná instituce [online]. 2015 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda
- [6] Manipulační řád pro vodní dílo Sřekov na Labi, ř. km 767,679. Povodí Labe, státní podnik. Hradec Králové, září 2012.
- [7] KUTILEK, Lukáš. Vaňov. In: Youtube [online]. Zveřejněno 7. 3. 2017 [vid. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=10eg_GB_A9E&feature=youtube_gdata_player
- [8] SEZNAM. Mapy Seznam [online]. 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [9] Osobní konzultace. Ing. Lukáš Radil, Ph.D., Ing. Michal Ptáček, Ph.D., Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Vysokého učení technického v Brně, květen 2017.
- [10] ČÁBELKA, Jaroslav. Využitie vodnej energie 1. díl. Státní nakladatelství technické literatury. Bratislava, 1958.
- [11] ČÁBELKA, Jaroslav. Využitie vodnej energie 2. díl. Státní nakladatelství technické literatury. Bratislava, 1958.
- [12] HYNKOVÁ, Eliška. Využití vodní energie – vybrané statě I. VUT v Brně. 1984
- [13] HYNKOVÁ, Eliška. Využití vodní energie – vybrané statě II. VUT v Brně. 1984
- [14] MOROZOV, Aleksandr Aleksandrovič. Využití vodní energie II. díl. Stavby k využití vodní energie. Státní nakladatelství technické literatury. Praha, 1954
- [15] Vyhláška č. 471/2001 Sb.: Vyhláška Ministerstva zemědělství o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly. In: . ročník 2001, číslo 471.

3. Úvod do problematiky PVE

Díky celosvětovému růstu hrubého domácího produktu roste i spotřeba energií. V důsledku klimatických změn a neustálého snižování zásob fosilních paliv jsme nuceni vyhledávat nové a zároveň čistší zdroje energie.

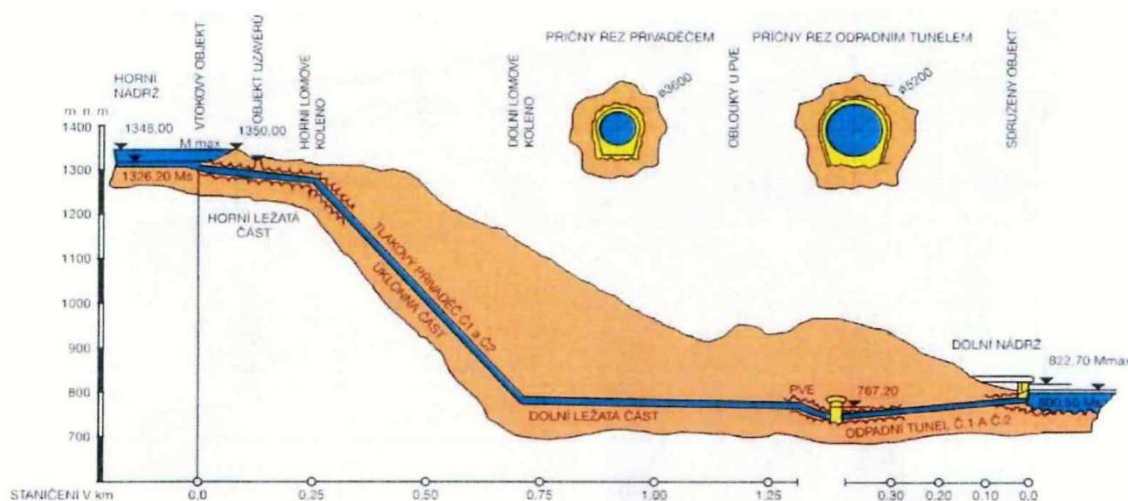
Na výrobě elektrické energie v České republice se podílejí jaderné elektrárny (JE), parní elektrárny (PE), paroplynové a plynové elektrárny (PPE + PSE), vodní elektrárny (VE), přečerpávací vodní elektrárny (PVE), fotovoltaické elektrárny (FVE), větrné elektrárny (VTE) a další. Hlavní podíl zaujímají elektrárny jaderné a parní. Množství jimi vyrobené energie je během dne téměř konstantní, neboť regulace je energeticky velice náročná a ekonomicky nevýhodná.

Pro vykrývání špičkové spotřeby energie v době okamžité zvýšené potřeby či při výpadku některé z JE nebo PE slouží přečerpávací vodní elektrárny. Zároveň plní funkci akumulace přebytečné energie při malém zatížení sítě, například v brzkých ranních hodinách. Přebytečná energie je tak využita pro čerpání vody z dolní nádrže do nádrže horní.

Vhodnou alternativu nabízí PVE také jako záložní zdroje (akumulace) energie pro v poslední době se rychle rozvíjející méně stabilní zdroje, které představují již zmíněné fotovoltaické a větrné elektrárny.

3.1. Základní uspořádání PVE

Na Obr. 3.1 je zobrazeno schéma PVE. Dílo je tvořeno dvěma nádržemi v různých nadmořských výškách. Níže položená nádrž se nazývá dolní nádrž a je spojena odpadním tunelem se strojovnou vodní elektrárny. Z výše umístěné horní nádrže vede do strojovny tzv. tlakový přivaděč. Rozdíl mezi hladinami v horní a dolní nádrži se nazývá spád a je jedním ze základních parametrů při návrhu výkonu PVE. Uspořádání elektrárny je z velké části předurčeno jejím plánovaným umístěním.



Obr. 3.1: Schéma PVE [3]

Volbu lokality pro vybudování PVE ovlivňují spolu s topografickými a geologickými poměry i hydrologické podmínky. Obecně se při návrhu snažíme o splnění následujících požadavků:

- Dosažení co největšího užitečného obsahu horní akumulární nádrže,
- Využití co největšího spádu při minimální délce přiváděče,
- Volba nejvýhodnějšího poměru hlavních parametrů instalovaných strojů, zejména průtoků, výkonu a příkonu.

Přecherpcí vodní elektrárny se dle typu uspořádání dělí na 2 základní skupiny:

1. PVE s umělou (sekundární) akumulací.
2. PVE se smíšenou akumulací (přirozená a umělá).

Obě skupiny se pak dle typu horní a dolní nádrže, provedení přiváděčů a umístění strojovny dělí na další podskupiny. [2]

PVE se sekundární akumulací se skládají z horní uměle vytvořené nádrže a dolní nádrže, která je tvořena přehrazením stávajícího vodního toku. Ztráty odpařováním, průsakem a při čerpání nahrazuje přítok do dolní nádrže. Pro horní nádrž je nutné najít vhodnou lokalitu z hlediska umístění tak i geologického složení. Pro povrch horní nádrže se obvykle využívá asfaltový beton, výjimečně plastové fólie. Příkladem přecherpcí vodní elektrárny s umělou akumulací vody jsou například PVE Dlouhé Stráně či Čierny Váh.

PVE se smíšenou akumulací jsou tvořeny horní nádrží s přirozeným přítokem, vniklou přehrazením vodního toku, a dolní vyrovnávací nádrží. V ní se obvykle

umísťuje malá vodní elektrárna. Dolní nádrž se může nacházet i na odlišném toku než nádrž horní. Příkladem je PVE Dobšíná.

Přečerpávací vodní elektrárna plní v elektrizační soustavě 3 základní funkce:

- Statická – přeměna přebytečné energie v soustavě na špičkovou energii. V době nadbytku energie je voda z dolní nádrže přečerpávána do nádrže horní, při nedostatku je pak pouštěna v turbínovém režimu zpět a vyrábí elektrický proud.
- Dynamická – slouží jako výkonová reserva systému.
- Kompenzační – podílí se na regulaci napětí v soustavě.

3.2. Provoz PVE [1]

Pro soustrojí PVE rozlišujeme následující provozní stavy:

- klidový stav,
- turbínový provoz,
- čerpadlový provoz,
- kompenzační provoz,
- provoz při hydraulickém zkratu.

Rozběh soustrojí do čerpadlového provozu lze provést několika způsoby:

- asynchronním rozběhem synchronního motorgenerátoru,
- pomocí rozběhového asynchronního motoru,
- frekvenčním rozběhem (např. hydroalternátorem).

Doba přechodu mezi jednotlivými provozními stavy by měla být co nejkratší. Na čas mají vliv:

- dynamické děje (rozběh nebo zastavení strojů, změny proudění vody v přivaděčích),
- pomocné děje (spouštění pomocných zařízení, zavzdušnění strojů apod.).

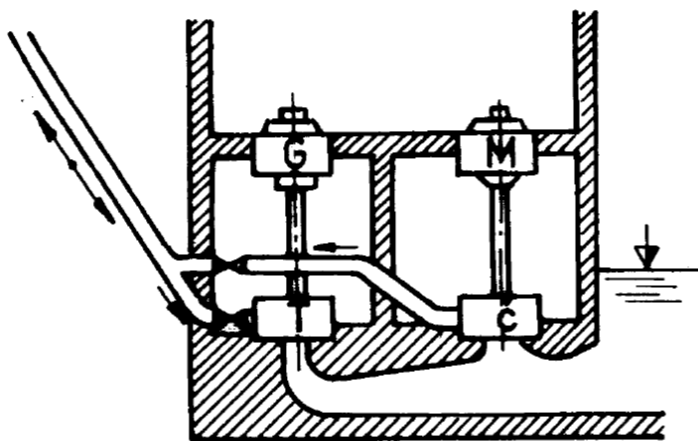
Z hlediska doby přechodu jsou nejprůzračnější třístrojová uspořádání. Nejrychlejší přechod se zpravidla vyskytuje ve změně z klidového stavu do turbínového provozu, většinou se jedná o dobu kratší než 60 vteřin.

3.3. Uspořádání PVE

V historii přečerpávacích vodních elektráren bylo použito několik druhů uspořádání. Jednotlivé konfigurace se liší v počtu strojů a to následovně:

- čtyřstrojové uspořádání,
- třístrojové uspořádání,
- dvoustrojové uspořádání.

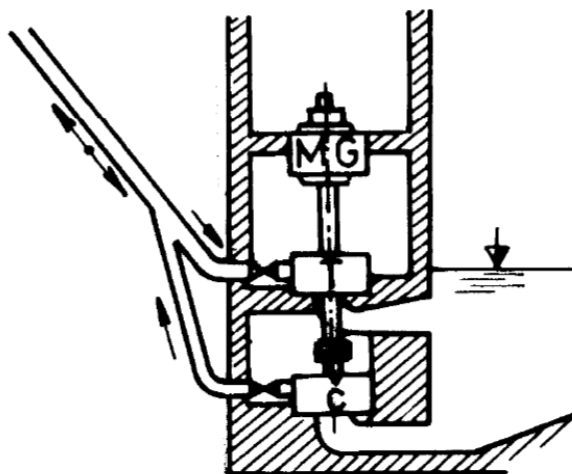
Čtyřstrojové uspořádání se skládá ze samostatné turbíny, generátoru, čerpadla a motoru. Turbína s generátorem pracují v turbínovém provozu a slouží k výrobě elektrické energie. Čerpadlo s motorem energii spotřebovávají při čerpání vody z dolní do horní nádrže. Turbína není s čerpadlem nijak spojena.



Obr. 3.2: Schéma čtyřstrojového uspořádání [4]

Popis obrázku: G – generátor, T – turbína, M – motor, Č – čerpadlo.

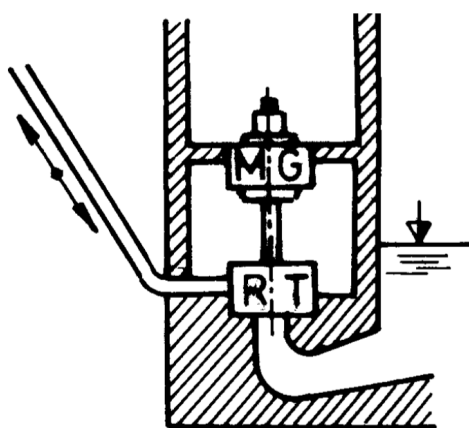
Třístrojové uspořádání je tvořeno motorgenerátorem, turbínou a čerpadlem. Většinou se zaměřuje na velké spády v kombinaci s Peltonovou turbínou. Turbína je spolu s čerpadlem spjata pevnou či vysouvatelnou spojkou. Pevné spojení se používá jen zřídka, neboť při turbínovém provozu vyžaduje odvodnění a zavzdušnění oběžného kola čerpadla, které se následně otáčí spolu s turbínou a způsobuje tak ventilační ztráty. Oproti tomu vysouvatelná spojka je při turbínovém provozu rozpojena a oběžné kolo čerpadla zůstává v klidu. Výhodou třístrojového uspořádání je shodný směr otáčení v turbínovém a čerpadlovém provozu, což zkracuje manipulační časy přechodů mezi jednotlivými provozy. To je přínosné pro regulaci kmitočtu v elektrizační soustavě. Výše zmíněná konfigurace je použita například u rakouské PVE Kops II. [4]



Obr. 3.3: Schéma třístrojového uspořádání [4]

Popis obrázku: MG – motorgenerátor, T – turbína, Č – čerpadlo.

Dvojestrojové uspořádání, které sestává z motorgenerátoru a reverzibilní turbíny, je v dnešní době jednoznačně nejběžnější. Turbína může být ve dvousměrném provedení, kdy v jednom smyslu otáčení pracuje jako čerpadlo a v druhém jako turbína anebo v jednosměrném, kdy je smysl otáčení v obou provozních stavech shodný. Dvojestrojové uspořádání má oproti ostatním menší nároky na výšku soustrojí, což zjednodušuje stavbu a přispívá tak k nižším investičním nákladům. Této konfigurace je využito například u PVE Štěchovice. [4]

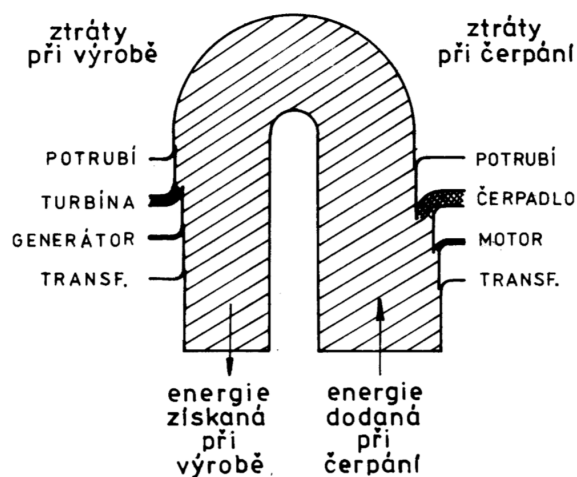


Obr. 3.4: Schéma dvoustrojového uspořádání [4]

Popis obrázku: MG – motorgenerátor, RT – reversibilní turbína.

3.4. Účinnost PVE

Účinnost PVE závisí na provedení stavebního, strojního a elektrotechnického uspořádání. Výsledná účinnost je tvořena součinem účinností jednotlivých technologických zařízení zúčastňujících se cyklu. Z následujícího diagramu je zřejmé, že k nezanedbatelným ztrátám dochází jak při čerpadlovém provozu, tak i při provozu turbínovém.



Obr. 3.5: Rozdělení ztrát PVE [4]

4. Charakteristika zájmové lokality

4.1. Charakteristika území

Lokalita záměru se nachází na levém břehu řeky Labe, v říčním kilometru 768,40, v prostoru zdrže Masarykova zdymadla, známého též jako Zdymadlo T. G. Masaryka v údolí pod hradem Střekov. Spadá do katastrálního území Vaňov (K.Ú.776807) v okrese Ústí nad Labem.

Tok patří do působnosti státního podniku Povodí Labe, spadá do hydrologického povodí s číslem 1-13-05-0210-0-00.



Obr. 4.1: Hydrologické povodí 4. řádu [5]

Statutární město Ústí nad Labem leží na severozápadě Čech na soutoku řek Labe a Bílina ve vzdálenosti necelých 90 km od hlavního města Prahy. Na severu sousedí s Krušnými horami, na jižní straně s Českým středohořím, do kterého spadá i zájmová lokalita. Díky své poloze je město důležitým železničním a silničním uzlem. Řeka Labe

patří mezi významné evropské cesty především z hlediska nákladní dopravy, avšak je hojně využívána i pro rekreační plavbu.

4.2. Vodní dílo Střekov

Vodní dílo Střekov spadá dle smyslu vyhlášky č. 471/2001 Sb. o technickobezpečnostním dohledu do kategorie II. [15] Sestává se z následujících objektů:

- Jezová zdrž
- Jez
- Plavební zařízení – plavební komory (PK)
- Rybí přechod
- Vodní elektrárna
- Zařízení pro kontrolu a řízení hospodaření s vodou
- Objekty pomocných provozů

VD Střekov svojí funkcí plní následující účely v pořadí dle důležitosti:

- **Dopravní** – zajištění hloubek a stálého odtoku v profilu pod jezem pro plavbu,
- **Energetický** – využití hydroenergetického potenciálu jezu průtočnou vodní elektrárnou,
- **Hospodářský** – umožnění odběrů povrchové vody,
- **Rekreační** – rekreační rybolov, vodní sporty apod.

4.2.1. Jezová zdrž

Hydrostatická hladina jezové zdrže Střekov dosahuje svým vzduťm po vodní dílo Lovosice. Celková délka činí 19,864 km. V ř. km. 783,85 zaúst'uje do zdrže zprava na kótě 138,80 m n. m. vjezd do bývalého lomu štěrkopísků (Píšťanské nebo také Žernosecké jezero). Jelikož má vjezd do lomu omezenou průtočnost, projevují se změny úrovně hladiny vody v lomu oproti hladině v jezové zdrži s jistou časovou prodlevou. [6]

V následující tabulce jsou uvedeny charakteristické hladiny, objemy a plochy prostoru samotné jezové zdrže a zdrže včetně aktivního prostoru lomu.

Tab. 4.1: Charakteristiky jezové zdrže [6]

Prostor	Od	Do	Objem	Plocha
	[m n.m.]	[m n.m.]	[mil. m ³]	[ha]
Jezová zdrž				
Po minimální provozní hladinu	131,60	140,40	12,4770	310
Od min. provoz. hladiny po max. provozní hladinu	140,40	141,45	3,3730	332
Celkový ovladatelný prostor	131,60	141,45	15,8500	332
Píšťanské jezero				
Celkový ovladatelný prostor	138,80	141,45	2,7000	105
Jezová zdrž včetně Píšťanského jezera				
Po dno vjezdu do lomu	131,60	138,80	7,8270	262
Od dna vjezdu po minimální provoz. hladinu	138,80	140,40	6,2080	346
Od min. provoz. hladiny po max. provoz. hladinu	140,40	141,45	4,5150	437
Celkový ovladatelný prostor	131,60	141,45	18,5500	437

4.2.2. Plavební zařízení

Jako plavební zařízení slouží dvě plavební komory (velká VPK a malá MPK) při pravém břehu řeky s ohlaviím v úrovni osy jezu. Komory jsou plněny oboustrannými obtoky s hydraulicky uzavíratelnými tabulemi.

Tab. 4.2: Velká plavební komora [6]

Celková délka komory	208,265	[m]
Užitná délka komory	170,00	[m]
Užitná šířka komory	24,00	[m]
Kóta horního prahu	131,70	[m n.m.]
Kóta horní hrany dolních vrat při zcela spuštěné horní tabuli vrat	137,60	[m n.m.]
Kóta dolního záporníku	130,40	[m n.m.]
Kóta dna plavební komory	130,00	[m n.m.]
Kóta horní hrany zdi plavební komory	143,20	[m n.m.]
Objem ode dna po úroveň 140,40 m n.m.	46,450	[tis. m ³]
Objem ode dna po úroveň 141,40 m n.m.	50,955	[tis. m ³]
Objem od kóty 133,40 m n.m. (3 m nad záporníkem) po 140,40 m n.m.	31,530	[tis. m ³]
Objem od kóty 133,40 m n.m. (3 m nad záporníkem) po 141,40 m n.m.	36,030	[tis. m ³]
Doba plnění	22	[min]
Doba prázdnění	16	[min]
Doba otevření (zavření) pro obtoky	2	[min]
Doba otevření (zavření) vzpěrných vrat	2	[min]
Celková doba proplavení	dle druhu plavidla	

Tab. 4.3: Malá plavební komora [6]

Celková délka komory	208,265	[m]
Užitná délka celé komory	173,70	[m]
Užitná délka horní komory	82,20	[m]
Užitná délka dolní komory	81,50	[m]
Užitná šířka komory	12,50	[m]
Kóta horního záporníku	137,60	[m n.m.]
Kóta dolního a středního záporníku	130,40	[m n.m.]
Kóta dna plavební komory	130,00	[m n.m.]
Kóta horní hrany zdi plavební komory	143,20	[m n.m.]
Objem celé komory ode dna po úroveň 140,40 m n.m.	25,765	[tis. m ³]
Objem horní komory ode dna po úroveň 140,40 m n.m.	12,895	[tis. m ³]
Objem dolní komory ode dna po úroveň 140,40 m n.m.	12,870	[tis. m ³]
Objem celé komory ode dna po úroveň 141,40 m n.m.	28,300	[tis. m ³]
Objem horní komory ode dna po úroveň 141,40 m n.m.	14,175	[tis. m ³]
Objem dolní komory ode dna po úroveň 141,40 m n.m.	14,125	[tis. m ³]
Objem celé komory od kóty 133,40 m n.m. po 140,40 m n.m.	17,620	[tis. m ³]
Objem horní komory od kóty 133,40 m n.m. po 140,40 m n.m.	8,820	[tis. m ³]
Objem dolní komory od kóty 133,40 m n.m. po 140,40 m n.m.	8,800	[tis. m ³]
Objem celé komory od kóty 133,40 m n.m. po 141,40 m n.m.	20,155	[tis. m ³]
Objem horní komory od kóty 133,40 m n.m. po 141,40 m n.m.	10,100	[tis. m ³]
Objem dolní komory od kóty 133,40 m n.m. po 141,40 m n.m.	10,055	[tis. m ³]
Doba plnění celé MPK	7	[min]
Doba prázdnění celé MPK	8	[min]
Doba plnění celé MPK s plavidlem včetně zaplutí (vyplutí)	24	[min]
Doba prázdnění celé MPK s plavidlem včetně zaplutí (vyplutí)	26	[min]

Plavební cesta je zařazena do kategorie Va (klasifikace vnitrozemských vodních cest mezinárodního významu) a je součástí vodní magistrály E20 Severní moře – Hamburk – Ústí nad Labem – Mělník – Pardubice. V případě realizace PVE by bylo nutné řešit možné ovlivnění vlivem změny rychlostního pole v oblasti před plavebními komorami a také kolísáním hladiny při čerpadlovém či turbínovém provozu.

4.3. Hydrologické údaje

Hydrologické poměry Labe pro profil nad Bílinou byly převzaty od Českého hydrometeorologického ústavu, pobočka Praha, Na Šabatce 17, 143 06 Praha 4 – Komořany dopisem č.j. 499/12/V ze dne 13.8.2012 [6].

- Tok: Labe
- Profil: nad Bílinou
- Hydrologické číslo povodí: 1-13-05-021
- Plocha povodí: 48 541,15 km²
- Průměrný dlouhodobý roční úhrn srážek: 670 mm
- Průměrný průtok: 293,0 m³/s

Tab. 4.4: M-denní průtoky Labe pro profil nad Bílinou dle [6]

Průtoky Q_M (M-denní)													
M (dny)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q_M (m ³ .s ⁻¹)	660	459	356	290	241	203	172	145	121	99,0	77,2	56,2	43,9

Tab. 4.5: N-leté průtoky Labe pro profil nad Bílinou dle [6]

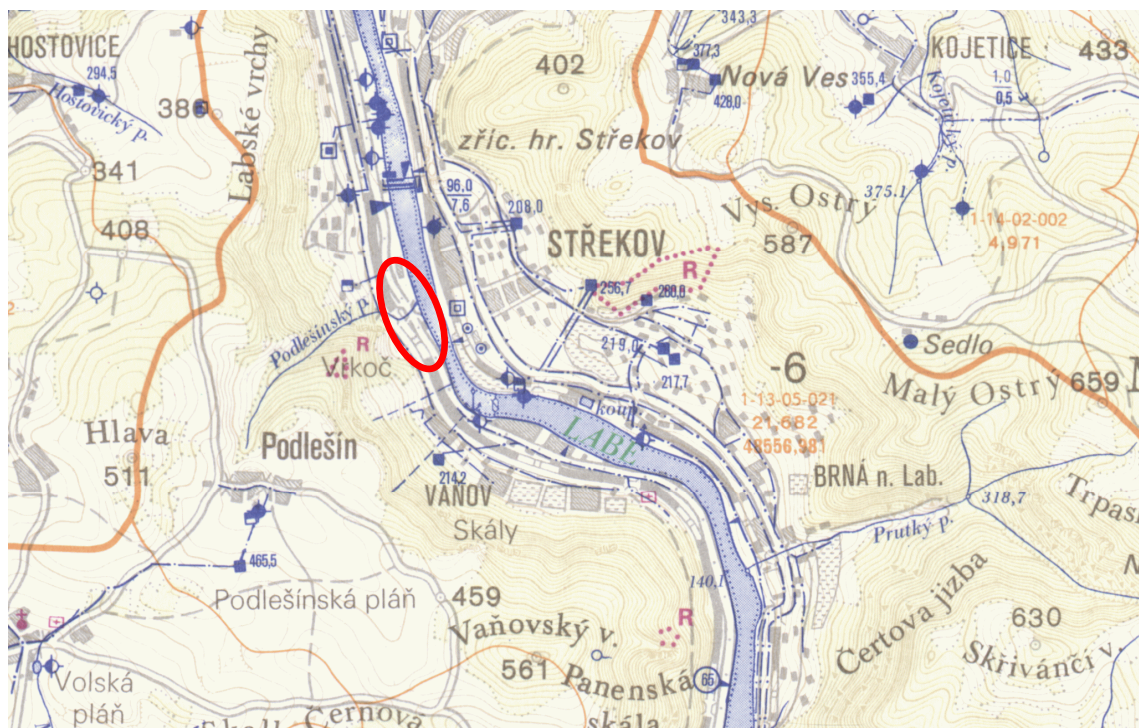
Průtoky Q_N (N-leté)							
roky	1	2	5	10	20	50	100
Q_N (m ³ .s ⁻¹)	1240	1650	2220	2670	3140	3780	4290

4.4. Geodetické podklady

V rámci zpracování bakalářské práce nebylo provedeno zaměření lokality.

4.5. Geologické poměry

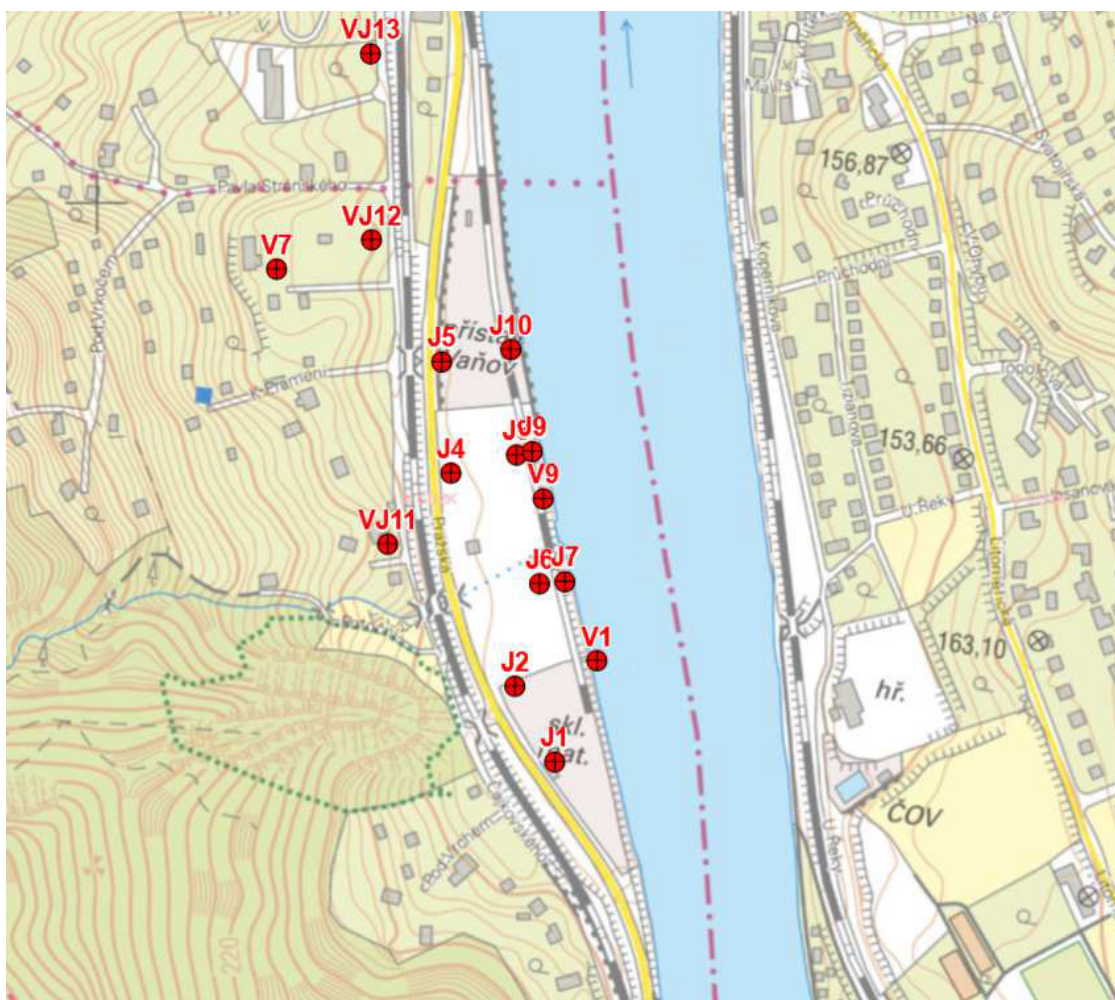
Při popisu geologických poměrů se vycházelo z informací uvedených v „PVE PODLEŠÍN – Možnosti hydroenergetického využití lokality. Brno, 2016“ [1]. Obecně se v prostoru kolem řeky Labe vyskytují naplaveniny a navážky, tzv. fluvialní sedimenty. Pod svrchní vrstvou ornice se nachází 3 až 8 metrů mocná vrstva štěrku, kamenů a balvanů čediče. Níže jsou uloženy písčité, hrubé až balvanité labské štěrky ve formě balvanitých čedičů. V závislosti na hydrologickém režimu Labe byla naměřena hladina podzemní vody v hloubce 2,5 – 3,5 metru pod povrchem.



Obr. 4.2: Přehledná mapa s vyznačením zájmového území [5]

V předpokládaném místě objektu tvoří mnohokrát upravovaný terén dle vrtů J6 a J7 0,3 metru silná vrstva navážky štěrku, uhlí, železa a písku. V hloubce 0,3 až 6,0 m se vyskytuje navážka kamenů a balvanů čediče s výplní písčitého štěrku. V úrovni 6,0 až 9,0 m pod povrchem se nachází kameny a balvany čediče se štěrkem hrubým o velikosti do 25 cm. V hloubce 9,0 až 11,8 m jsou uloženy kameny a balvany čediče do 40 cm, vyplněny písčitým štěrkem šedým, ulehlým. Poslední změřená vrstva o mocnosti 1,2 m byla tvořena pískem se štěrkem šedým, středně až hrubozrnným, s valouny o velikosti do 10 cm.

Dle vrtů VJ11 až VJ14, vyhloubených v levobřežním svahu, jsou svahové jíly o mocnosti 1 metru uloženy na kamenitých až balvanitých sutích v hloubce 10 až 12 metrů pod povrchem. Pod nimi byly navrtány třetihorní jílovité hlíny a stmelený písek až pískovec. Hluběji se nachází neogenní slínovce.



Obr. 4.3: Situace s umístěním průzkumných vrtů [1]

5. Navržené technické řešení

5.1. Účel a předmět stavby

Stavba byla navržena za účelem vykrývání špičkové spotřeby energie v době okamžité zvýšené potřeby při změnách zatížení sítě v elektrizační soustavě.

Studie se zabývá návrhem PVE se čtyřmi reverzními turbínami typu Francis o průměru oběžného kola 2,33 m. Sací výška turbíny je 25 m. V turbínovém režimu dosahuje jedno soustrojí průtoku maximálně 37,50 m³/s, v čerpadlovém 31,25 m³/s. Maximální výkon na hřídeli turbíny je 96 MW.

Horní asfaltobetonem těsněná nádrž PVE se zásobním objemem 3 miliony m³ je zamýšlena v údolním reliéfu nacházejícím se jižně od Podlešína na Podlešínské pláni na levém břehu Labe nad zdrží Střekov. Zdejší terén se pohybuje ve výškách 440 až 480 m n. m., podloží je tvořeno nízkopropustnými deluviálními sedimenty vhodnými pro umístění vodní nádrže. [1]

Dolní nádrž PVE tvoří stávající zdrž Masarykova zdymadla umožňující manipulaci s objemem vody nacházejícím se mezi maximální provozní hladinou (141,15 m n. m.) a minimální provozní hladinou (140,40 m n. m.). [1] Ten v součtu s Žernoseckým jezerem zaujímá celkový objem 4,515 mil. m³. [6]

Stavba PVE je rozdělena do několika stavebních částí. Vtokový objekt, strojovnu PVE, která je rozdělena na horní stavbu s kobkami pro transformátory a spodní stavbu dále tlakové přivaděče, kabelový kanál, provozní budovu, technickou budovu s dílnami a sklady a příjezdovou komunikaci.

Nátok do vtokového objektu je veden ve sklonu 1:4 přímo z koryta řeky. Před vtokem do savky je umístěn vtokový práh s převýšením 0,5 metru. Na vtokovém prahu jsou umístěny drážky s česlemi ovládanými hydromotorem a za nimi drážky pro stavidlovou tabuli. Z tohoto prostoru je pak voda odváděna savkou do prostoru spodní stavby strojovny.

Uspořádání spodní stavby strojovny je maximálně přizpůsobeno hydraulickému obvodu turbín, včetně jejich spirál, prostoru pro obsluhu a použitému technologickému zařízení. Oběžné kolo turbíny je hřídelí spojeno s motorgenerátorem. V nejnižší části spodní stavby jsou umístěny 2 jímky technologické vody.

Horní stavba strojovny je navržena jako nosná konstrukce pro mostový jeřáb pohybující se po délce celé strojovny včetně montážního prostoru. Přístup je umožněn z přilehlé provozní budovy či vraty montážního prostoru. Podlaha horní stavby

je pro zajištění protipovodňové ochrany navržena v úrovni 0,5 metru nad zaznamenanou hladinou vody při povodni v roce 2002. Konstrukční výška horní stavby strojovny je 16,14 m. Komunikačně je horní stavba propojena s dolní dvěma schodišti a jedním výtahem.

Vedle strojovny směrem k Labi se nacházejí kobky pro transformátory. Transformátory jsou umístěny na podvozku s kolejnicemi s převýšením 0,8 m nad povrchem. Pod nimi jsou navrženy jímky pro případ úniku oleje. Kobky jsou požárně odděleny zdí o tloušťce 0,6 metru. Výška kobek dvou hlavních transformátorů je shodná s výškou strojovny, kobka transformátoru pro vlastní spotřebu, nacházející se uprostřed, má výšku 8,3 metru.

Provozní budova se skládá ze dvou nadzemních a jednoho podzemního podlaží. Slouží jako zázemí pro obsluhu, včetně sociálního zařízení, velínu a informačního centra. Před provozní budovou se nachází parkovací stání pro obsluhu a návštěvníky. Provozní budova má výšku 8,16 metru. Podzemní podlaží se nachází 3,08 metru pod povrchem.

Technická budova se 2 dílnami a skladem je umístěna na straně strojovny s manipulačním prostorem. Přístup do každé části je řešen samostatnými dveřmi. Výška technické budovy je 4,96 metru.

5.2. Členění stavby

Výstavba PVE si vyžádá realizaci 8 stavebních objektů a 3 provozních souborů:

- SO 1 - Vtokový objekt,
- SO 2 - PVE – spodní stavba,
- SO 3 - PVE – horní stavba,
- SO 4 - Tlakové přivaděče,
- SO 5 - Kabelový kanál,
- SO 6 - Provozní budova,
- SO 7 - Technická budova,
- SO 8 - Příjezdová komunikace a zpevněné plochy,
- PS 1 - PVE – strojní část,
- PS 2 - PVE – elektročást,
- PS 3 - Vtokový objekt.

6. Popis stavební části PVE

6.1. SO 1 – Vtokový objekt

Vtokový objekt, který současně zaujímá i funkci výtoku, se stejně jako celá PVE nachází na levém břehu řeky Labe. V čerpadlovém režimu slouží k přívodu vody z prostoru jezové zdrže k turbíně, v turbínovém odvádí vodu z oběžného kola do zdrže. Celkem se jedná o 4 samostatná pole.

Dno před vtokovým objektem je opevněné kamenným záhozem. Nachází se na výškové úrovni 130,70 m n. m.. Šikmé dno nátoky je zhotoveno z vodostavebního železobetonu ve sklonu 1:4. Před samotným vyústěním savky je na kótě 128,70 m n. m. umístěn práh s převýšením 0,5 metru, který zabráňuje vniknutí sunutých splavenin do prostoru turbíny. Ponoření vtoku je navrženo v souladu s Gordonovým kritériem pro vznik vodních vírů a to 5,43 m pod úrovní minimální provozní hladiny.

Za prahem jsou umístěny hydromotorem ovládané česle. Rozměr česlí je 5,60 x 6,43 m. Česle jsou spouštěny dolů pouze při čerpadlovém provozu, kdy brání vniku splavenin a plavenin vyskytujících se v tekoucí vodě a následnému mechanickému poškození elektrárny. Při maximálním průtoku dosahuje rychlost na česlích hodnoty 1,2 m/s. Při turbínovém provozu jsou česle vytaženy nad úroveň vrchní hrany odpadního tunelu.

V případě nutnosti lze česle jeřábem vytáhnout a do drážky umístit tabule provizorního hrazení. Hradící profil je rozdělen na dvě části o shodných rozměrech 2,80 x 6,43 m. Tabule jsou tvořeny plnostěnnými ocelovými nosníky a jsou opatřeny záchytnými otvory pro háky manipulační traverzy. Těsnění tabulí je zajištěno profilovou gumou.

Za česlemi jsou umístěny drážky pro stavidlovou tabuli ovládanou taktéž hydromotorem. Otvory pro osazování česlí a hradící tabule jsou zakryty ocelovými pozinkovanými poklopy.

6.2. SO 2 – PVE – spodní stavba

Strojovna se skládá celkem z 9 podlaží. Spodní stavbu strojovny tvoří spodních osm. Pod úrovní 8. podzemního podlaží se nachází na kótě 108,50 m n. m. dna 2 jímek technologické vody. Jímky jsou umístěny vždy mezi dvěma krajními turbínami. Každá má rozměry 2,93 m x 4,50 m x 3,20 m (d x š x v). Přístup je umožněn z 8. podzemního podlaží napevno instalovaným nerezovým žebříkem. Otvor je zakryt ocelovým pozinkovaným poklopem.

V 8. podzemním podlaží (112,30 m n. m.) se nachází kulové uzávěry, čerpadla vyčerpání technologické vody a horizontálně rozdělené rozpojitelné kužely savek. Z prostoru pod oběžným kolem vedou v podlaže koleje s roztečí 2,0 m sloužící v případě nutnosti demontáže oběžného kola. Při běžném provozu jsou zakryty pozinkovanými poklopy. Napříč celým patrem prochází středem strojovny kabelová chodba 400 kV s rozměry 2,75 x 3,60 m, vycházející z rozvodny a napojující se na podzemní kolektor kruhového průřezu o průměru 4 m, vedoucí mezi přívaděči.

Komunikační propojení všech podlaží spodní stavby je umožněno pomocí výtahu nacházejícího se v prostoru mezi dvěma krajními savkami (S1 a S2) společně se schodištěm. Vnitřní rozměry výtahové šachty jsou uvažovány 1,43 x 2,10 metru. Dvouramenné schodiště s šířkou 0,85 m vždy překonává výšku 4,40 m. Šířka mezipodesty činí 1,10 metru. Další samostatné dvouramenné schodiště je umístěno v prostoru mezi savkami S3 a S4. Schodiště je 1,00 m široké, šířka mezipodesty je shodná 1,10 m. Obě schodiště navazují v každém následujícím patře na spojovací chodbu o šířce 2 m vedoucí po celé délce spodní stavby. U obou schodišť je uvažován prostor pro vedení vzduchotechniky.

V 7. podzemním podlaží (116,70 m n. m.) je umožněn přístup k hřídelím turbín, závěsným ložiskům a rozváděcímu kruhu turbíny. Uprostřed strojovny je prostor o rozměrech 4,78 x 7,35 m pro umístění dalších potřebných technologických zařízení.

6. podzemní podlaží (121,10 m n. m.) je určeno pro rotory generátorů. Zároveň zde vychází vyvedení výkonu z generátorů vedoucí v zapouzdrěných třífázových vodičích o celkovém rozměru 2,1 x 0,8 m. Na straně provozní budovy se u stropní konstrukce nachází mostový jeřáb sloužící k přesunu lehčí technologie v nižších patrech. Pohyb jeřábu je umožněn po celé délce spodní stavby strojovny.

V 5. podzemním podlaží (125,50 m n. m.) jsou uložena sběrací ústrojí generátorů. Prostor nad tvoří již otevřená šachta až po úroveň horní stavby.

Do 3. podzemního podlaží (135,60 m n. m.) s kabelovým prostorem je zaústěno vyvedení výkonu z generátorů. Přístupné je ze schodiště vedoucího z rozvodny ve druhém podzemním podlaží (138,70 m n. m.).

První podzemní podlaží spodní stavby strojovny (141,10 m n. m.) je tvořeno železobetonovým ochozem o šířce 1,5 m vedoucího z provozní budovy podél stěny na straně manipulačního prostoru. Do chodby druhého podzemního podlaží s přístupem do jednotlivých rozveden vede z ochozu schodiště o šířce 1,5 metru. Při schodišti je instalována plošina pro imobilní osoby. Na první podzemní podlaží se lze dostat rovněž z manipulačního prostoru prostřednictvím dvouramenného schodiště o šířce 0,8 m nacházejícího se na straně s transformátory.

6.3. SO 3 – PVE – horní stavba

Horní stavbu strojovny tvoří jediné nadzemní podlaží na kótě 144,18 m n. m. s manipulačním prostorem a kobkami pro transformátory. Celková výška horní stavby je 16,14 m (160,30 m n. m.). Délka stavby činí 53,48 m a šířka bez kobek pro transformátory 14,62 m. Tloušťka železobetonové podkladové desky je 1,50 metru. Vjezd je řešen pomocí dvoukřídlých vrat o celkové šířce 7,8 metrů a výšce 7,8 m, nacházejících se na obou protějších stranách stavby. Vstup pro zaměstnance je umožněn dveřním otvorem v jednom z křídel vrat. V podlaze jsou instalovány kolejnice vlečky sloužící pro přepravu těžkých břemen se standardizovaným rozchodem 1435 mm. V případě realizace stavby PVE by bylo vhodné uvažovat o napojení na stávající vlečku vedoucí do přístavu Vaňov.

Pro návrh PVE se po konzultaci [9] uvažují 2 blokové trojfázové transformátory (T1 a T2) s rozměry 10 m x 7 m x 10 m (d x š x v), po zahrnutí ochranných pásem 16 m x 8 m x 14 m. Mezi T1 a T2 se bude nacházet jeden transformátor pro vlastní spotřebu (4 m x 3 m x 5 m). Transformátory budou umístěny v separovaných kobkách na podvozku s kolejnicemi na podstavci o výšce 0,8 m (144,98 m n. m.). Pod transformátory se budou nacházet záchytné jímky na olej. Z důvodu požární bezpečnosti budou odděleny zdí o tloušťce 0,6 metru. Výška kobek dvou hlavních transformátorů je shodná s výškou strojovny (160,32 m n. m.), kobka transformátoru pro vlastní spotřebu, nacházející se uprostřed, má výšku 8,3 metru (152,28 m n. m.).

6.4. SO 4 – Tlakové přivaděče

Přívod vody z horní nádrže bude zajištěn dvěma pancéřovanými přivaděči kruhového průřezu o průměru 4 m. Pro ražbu tlakových přivaděčů bude nejprve vyhloubena těžní jáma. Z jámy pak bude ražena štola do prostoru horní nádrže. Bezprostředně před strojovnou budou oba přivaděče opatřeny kalhotovým kusem, který zajistí rovnoměrné rozdělení proudící vody mezi turbíny. Pro zajištění neměnné rychlosti proudění bude součet průtočné plochy potrubí vycházejícího z kalhotového kusu (každé s průměrem 2,82 m) shodný s obsahem přivaděče. Bezprostředně před šachtou strojovny bude na potrubí navazovat zužující kus s konečným průměrem 2,06 m. Na styku stěny se zeminou bude po obvodu přivaděče osazen dilatační kus zabezpečující potrubí proti posunům a deformaci při případném nerovnoměrném sedání.

6.5. SO 5 – Kabelový kanál

Ražba kabelového kanálu bude probíhat ze stejné těžní jámy, jako ražba přivaděčů. Kabelový kanál bude mít kruhový průřez s průměrem 4 m a bude po délce rozdělen na několik úseků z důvodu požární bezpečnosti. Navazovat bude přímo na budovu strojovny s osou kanálu na výškové kótě 114,50 m n. m..

6.6. SO 6 – Provozní budova

Provozní budovu tvoří celkem 3 podlaží, dvě nadzemní a jedno podzemní. Úroveň střechy je na kótě 152,14 m n. m.. Světlá výška nadzemních podlaží je rovna 3,50 m. Vnější rozměry budovy jsou 37,85 m x 8,90 m. Podzemní podlaží se nachází 3,08 metru pod povrchem. První nadzemní podlaží bude sloužit jako zázemí pro obsluhu. Nacházet se zde budou i šatny se sociálním zařízením. Podlaží bude komunikačně propojeno s manipulačním prostorem pomocí ochozu o šířce 1,5 m. V druhém nadzemním podlaží bude umístěn velín, zasedací místnost, informační centrum a sociální zařízení. Podzemní podlaží provozní budovy bude sloužit především k přístupu do spodní stavby strojovny a jako případná skládka technologie.

6.7. SO 7 – Technická budova

Z jižní strany navazuje na strojovnu technická budova s dílnami a skladem o celkových vnějších rozměrech 10,60 m x 14,62 m. Vstup do jednotlivých místností bude zajištěn dvoukřídlími dveřmi (1,7 m x 2,1 m) z manipulačního prostoru.

6.8. SO 8 – Příjezdová komunikace a zpevněné plochy

Stavba bude napojena na stávající komunikaci v okolí stavby. Komunikace bude v úrovni 144,18 m n. m. a bude navazovat na původní terén. Před provozní budovou bude prostor vyhrazený pro parkovací stání pro obsluhu a návštěvníky.

7. Technologická část PVE

7.1. PS 01 - strojní část

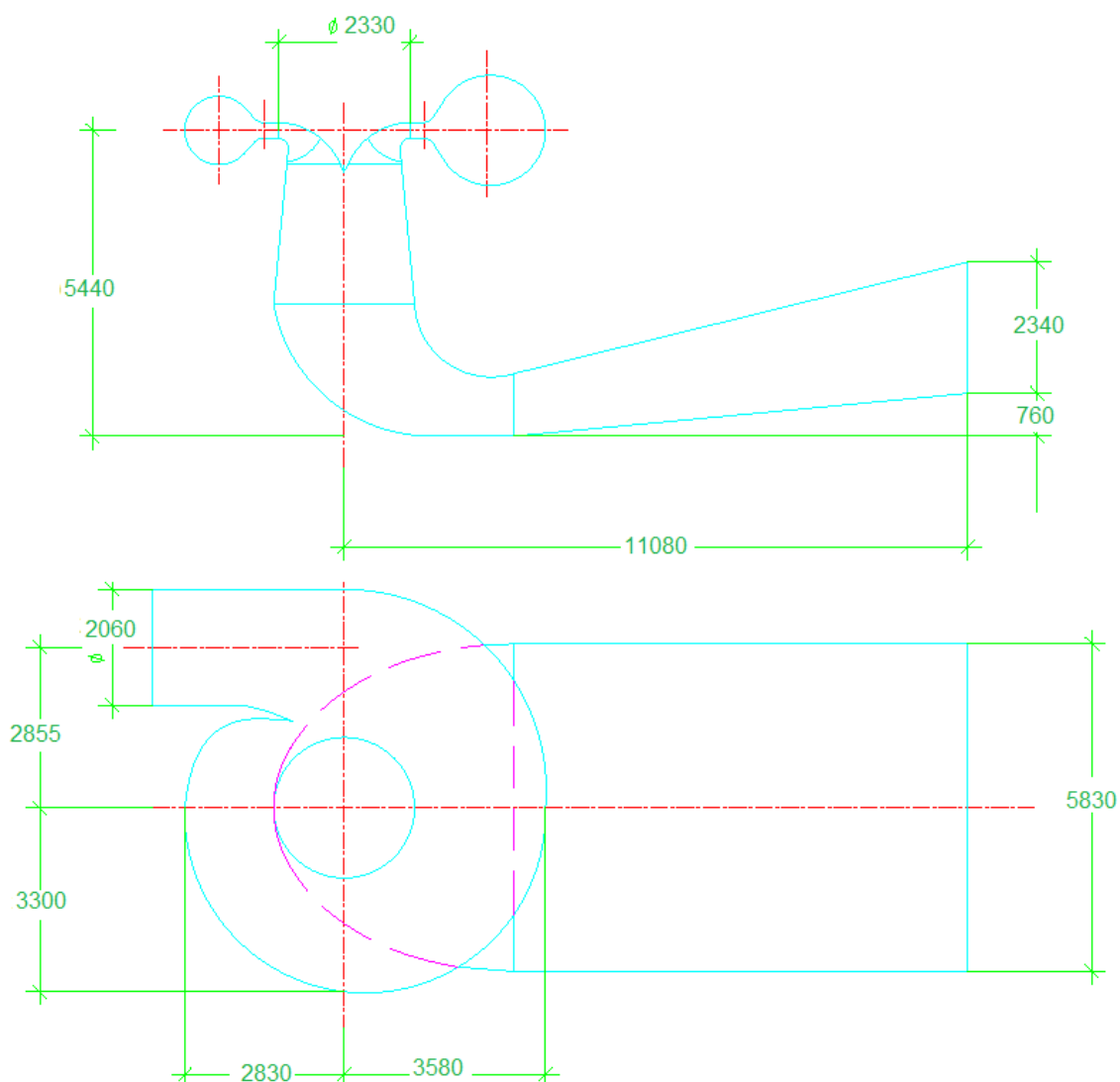
7.1.1. Turbína s příslušenstvím

Ve spodní stavbě strojovny PVE se budou nacházet čtyři soustrojí s reverzními Francisovými turbínami ve vertikálním uspořádání o průměru oběžného kola 2330 mm, přímo spojené hřídelí s generátorem. Demontáž oběžného kola bude umožněna z prostoru kuželu savky. Pro regulaci oběžného kola budou sloužit rozváděcí lopaty připojené k rozváděcímu kruhu. Za účelem zajištění maximální účinnosti budou turbíny navrženy a vyrobeny na míru, dle parametrů specifických pro danou lokalitu. Pro zpracování bakalářské práce byla použita turbína ze studie [1] s následujícími parametry:

Tab. 7.1: Parametry jedné čerpadlové turbíny Francis se spirální skříní [1]

DOK	m	2,33
Specifické otáčky n_s	/min.	144
Sací výška H_s	m	-25
n	/min.	545
Čerpadlo		
Průtok jmenovitý	m ³ /s	31,25
η_H	%	90,1
Čistý spád H_n	m	330
Příkon na hřídeli čerpadla	MW	112
Turbína		
Průtok jmenovitý	m ³ /s	37,5
Průtok minimální	m ³ /s	18
η_H	%	91,3
Čistý spád H_n	m	287
Výkon na hřídeli turbíny	MW	96

Spirála turbíny bude svařena z více částí. Kruh s pevnými předrozdávěcími lopatkami bude odlit z jednoho kusu. Kužel savky není z důvodu možnosti demontáže oběžného kola zabetonován a je horizontálně rozdělený na dvě části.



Obr. 7.1: Základní rozměry turbíny [1]

7.1.2. Kulový uzávěr

Kulový uzávěr je provozní a revizní těsnicí uzávěr nacházející se bezprostředně před spirální skříní. Ve vnitřním otočném tělese ve tvaru koule s osou otáčení kolmé k ose potrubí se nachází válcový otvor, jenž po úplném otočení uzávěru tvoří nerušený a hladký profil o stejném průřezu jako profil předcházejícího tlakového potrubí. Otočením tělesa o 90° se proti proudu natočí komora s kruhovou deskou, která je vlivem tlaku přitlačena na vnější část uzávěru a zabrání tak vodě v dalším pronikání. Otvírání a uzavírání je ovládáno hydraulickým servomotorem. Pro otevření uzávěru je nutné vyrovnání tlaků před a za uzávěrem pomocí odlehčovacího ventilu nacházejícího se na svrchní straně potrubí. Jmenovitý vnitřní průměr kulového uzávěru je 2060 mm.

7.1.3. Vodní hospodářství

V 8. podzemním podlaží strojovny se nachází zařízení sloužící k vyčerpání technologické a prosáklé vody. Pro každé dvě zrcadlově umístěné turbíny je společná jedna jímka umístěná v nejnižším podlaží strojovny na kótě 108,50 m n. m. s plovákovým stavoznakem a elektronickým spínáním.

7.2. PS 02 - Elektročást

7.2.1. Motorgenerátor

Maximální výkon PVE se uvažuje 4 x 96 MW, celkem tedy 386 MW. Motorgenerátory slouží k přeměně mechanické energie na energii elektrickou. Při turbínovém provozu pracuje soustrojí jako generátor, při čerpadlovém jako motor. Vinutí statoru je přímo chlazené demineralizovanou vodou v uzavřeném okruhu. Na vnitřním obvodu statoru jsou umístěná čidla a odporové teploměry pro monitorování aktuálního stavu a trvalou diagnostiku generátoru.

7.2.2. Transformátor

Pro transformaci napětí z generátorů 22 kV na úroveň 400 kV budou sloužit 2 blokové trojfázové transformátory (T1 a T2). Jeden transformátor bude vždy společný pro 2 generátory. Uvažované rozměry jednoho transformátoru jsou 10 m x 7 m x 10 m (d x š x v), po zahrnutí ochranných pásem 16 m x 8 m x 14 m. Odhadovaná hmotnost jednotky činí 250 tun. Umístění bude na výškové kótě 144,98 m n. m., 0,8 metru nad úrovní terénu a 1,3 metru nad úrovní hladiny při povodni v roce 2002. Transformátory budou bez záložní jednotky, pro vlastní spotřebu bude sloužit transformátor (22/0.4 kV) s rozměry 4 m x 3 m x 5 m umístěný mezi T1 a T2. Vyvedení výkonu bude pomocí zapouzďřených vodičů. Pod transformátory se budou nacházet záchytné jímky na olej.

7.2.3. Zapouzďřené vývody

Propojení generátoru s blokovým transformátorem bude provedeno zapouzďřenými vodiči. Mezi nimi se bude nacházet výkonový vypínač a odbočka na transformátor pro vlastní spotřebu.

7.2.4. Generátorový vypínač

Generátorový vypínač bude instalován mezi generátorem a transformátorem. Jeho funkce je spínání generátoru.

7.2.5. Kabelový vývod 400 kV

PVE bude zapojena do přenosové soustavy s napětím 400 kV. Vyvedení bude provedeno šachtou o rozměrech 2,75 m x 3,60 m pod strojovnou, za níž dojde ke změně profilu na kruhový o průměru 4 m, který bude vyražen pod povrchem mezi vysokotlakými přivaděči. Uvažuje se vyvedení k lokalitě Podlešínská pláň, nad zdrží Střekova a následné trasování v koridoru linky V210 (pravděpodobné zrušení), s využitím rozvoden Chotějovice a Babylon.

7.3. PS 03 - Vtokový objekt

Vtokový objekt PVE se skládá ze 4 polí, z nichž každé obsahuje česle a provozní uzávěr ovládané hydromotorem. Hydromotory budou provedeny jako přímočaré teleskopické. Šíře rámu česlí je shodná s šířkou tabulového uzávěru (0,5 m). Drážky jsou navrženy v šířce 280 mm. Česle budou spouštěny dolů pouze při čerpadlovém provozu, při turbínovém budou vytaženy nad úroveň stropu přivaděče. Hradící tabule budou provedeny z plnostěnných ocelových nosníků. Pro vyjmutí česlí či provozní tabule z drážek slouží pojezdny portálový jeřáb. Součástí vtokového objektu budou kolejnice zapuštěné do železobetonového pilíře napojené na stávající vlečku v přístavu. Kolejnice umístěná na straně blíže ke korytu řeky bude využívána i pro pomocný portálový jeřáb. Rozchod kolejnic je navržen ve standardizovaném rozměru 1435 mm.

8. Závěr

Úlohou bakalářské práce bylo zpracování studie proveditelnosti výstavby přečerpávací vodní elektrárny v lokalitě Střekov na Labi.

PVE je navržena ve snaze o maximální přizpůsobení hydraulickému obvodu turbín. Důraz byl kladen na co nejefektivnější dispoziční uspořádání jak vnitřních, tak i venkovních prostorů, vedoucí k minimalizaci náročnosti základových a stavebních prací při realizaci, což se v důsledku projeví i v objemu záboru pozemků a výši investičních nákladů.

V případě realizace by možné kolize mohly nastat ve spojení s jezovou zdří, která již nyní slouží pro více účelů. V dalších krocích by bylo vhodné hydraulicky posoudit vyústění vtokového objektu na ovlivňování rychlostního pole plavební dráhy. Jako nedostatečná se jeví i geologická prozkoumanost v zamýšleném místě založení stavby. Přínosem by naopak bylo umístění stavby z hlediska dopravní infrastruktury. Přístav je již napojený na stávající komunikaci i vlečku, které by se mohly využít při dopravě stavebního materiálu či technologických částí. Využít by bylo možné i lodní transport k přístavní hraně.

Brno, 26. 5. 2017

Tomáš Račoch

9. Seznam použitých zkratk a symbolů

PVE	Přečerpávací vodní elektrárna	[-]
JE	Jaderná elektrárna	[-]
PE	Parní elektrárna	[-]
PPE	Paroplynová elektrárna	[-]
PSE	Plynová spalovací elektrárna	[-]
VE	Vodní elektrárna	[-]
FVE	Fotovoltaická elektrárna	[-]
VTE	Větrná elektrárna	[-]
PK	Plavební komora	[-]
VPK	Velká plavební komora	[-]
MPK	Malá plavební komora	[-]
ř.km.	Říční kilometr	[-]
D _{OK}	Průměr oběžného kola	[m]
n _s	Specifické otáčky	[min ⁻¹]
H _s	Sací výška	[m]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
η _H	Účinnost stroje	[%]
H _n	Čistý spád	[m]
Q _M	N-letý průtok	[m ³ /s]
Q _N	N-letý průtok	[m ³ /s]

10.Seznam obrázků

Obr. 3.1: Schéma PVE [3]	13
Obr. 3.2: Schéma čtyřstrojového uspořádání [4].....	15
Obr. 3.3: Schéma třístrojového uspořádání [4]	16
Obr. 3.4: Schéma dvoustrojového uspořádání [4].....	16
Obr. 3.5: Rozdělení ztrát PVE [4]	17
Obr. 4.1: Hydrologické povodí 4. řádu [5]	18
Obr. 4.2: Přehledná mapa s vyznačením zájmového území [5]	22
Obr. 4.3: Situace s umístěním průzkumných vrtů [1]	23
Obr. 7.1: Základní rozměry turbíny [1]	31

11. Seznam tabulek

Tab. 4.1: Charakteristiky jezové zdrže [6]	20
Tab. 4.2: Velká plavební komora [6]	20
Tab. 4.3: Malá plavební komora [6]	21
Tab. 4.4: M-denní průtoky Labe pro profil nad Bílinou dle [6]	22
Tab. 4.5: N-leté průtoky Labe pro profil nad Bílinou dle [6]	22
Tab. 7.1: Parametry jedné čerpadlové turbíny Francis se spirální skříní [1]	30

12. Seznam příloh

1. TECHNICKÁ ZPRÁVA

DODATEK A: HYDRAULICKÉ VÝPOČTY

DODATEK B: FOTODOKUMENTACE

2. VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

2.1.	SITUACE ŠIRŠÍCH VZTAHŮ	1:25 000
2.2.	CELKOVÁ SITUACE STAVBY	1:500
2.3.	PŮDORYSNÝ ŘEZ STROJOVNOU B-B	1:100
2.4.	PODÉLNÝ ŘEZ STROJOVNOU C-C	1:100
2.5.	PŘÍČNÝ ŘEZ STROJOVNOU A-A	1:100

DODATEK A: HYDRAULICKÉ A HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

OBSAH

1. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ	3
2. HYDRAULICKÉ VÝPOČTY	4
2.1. POSOUZENÍ RYCHLOSTI NA JEMNÝCH ČESLÍCH.....	4
2.2. POSOUZENÍ NA VZNIK VTOKOVÝCH VÍRŮ [1].....	4
3. SEZNAM OBRÁZKŮ	7

1. Přehled výchozích podkladů

- [1] HOLATA, M. Malé vodní elektrárny: Projektování a Provoz. Academia Praha, 2007

2. Hydraulické výpočty

2.1. Posouzení rychlosti na jemných česlích

$$v = \frac{Q}{b * h} \quad (3.1)$$

kde:

v..... rychlost proudění vody na vtoku,

Q..... průtok vody na vtoku,

b..... šířka koncového profilu vtoku.

h..... výška koncového profilu vtoku.

Návrhový průtok na jednu reverzní Francisovu turbínu je $Q = 37,5 \text{ [m}^3\text{s}^{-1}\text{]}$. Šířka koncového profilu vtoku byla navržena $b = 5,83 \text{ [m]}$, výška koncového profilu vtoku $h = 5,36 \text{ [m]}$.

Po dosazení:

$$v = \frac{37,5}{5,83 * 5,36} = 1,2 \text{ [m * s}^{-1}\text{]}$$

Po dosazení hodnot do rovnice pro posouzení rychlosti na česlích byla vypočtena výsledná rychlost $v = 1,2 \text{ [m*s}^{-1}\text{]}$.

2.2. Posouzení na vznik vtokových vírů [1]

Aby se předešlo strhávání vzduchu vtokovými víry, je třeba navrhnout strop vtoku v dostatečné hloubce pod minimální provozní hladinou vody. K určení dané hloubky ponoření $S_p \text{ [m]}$ slouží vztah podle J. L. Gordona:

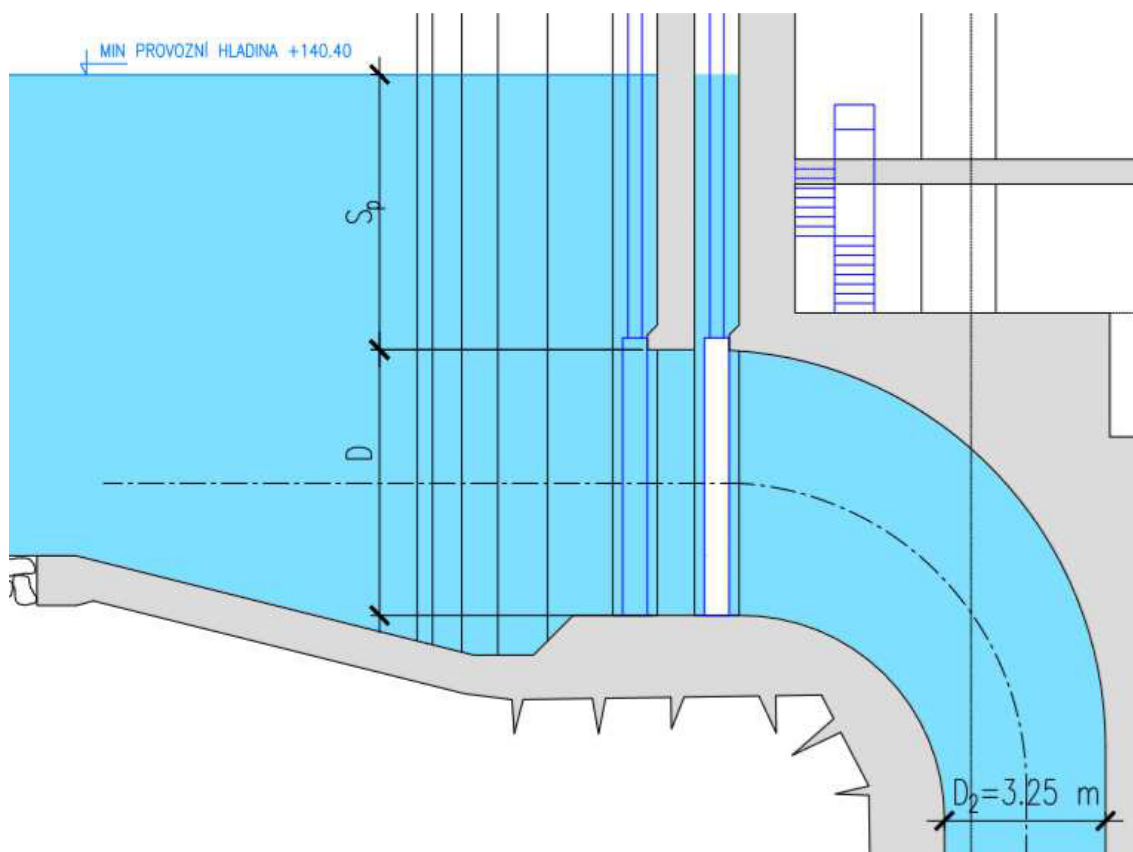
$$S_p = 0,545 * v * D^{0,5} \quad (3.2)$$

kde:

S_p hloubka minimálního ponoření stropu přivaděče,

v..... rychlost proudění vody na vtoku,

D..... výška koncového profilu vtoku.



Obr. 2.1: Schéma pro provedení výpočtu

Aby byl výpočet na straně bezpečné, lze místo výšky a rychlosti proudění v koncovém profilu vtoku dosadit hodnoty ve vertikální části odpadního kanálu. Pro účel výpočtu budou nazvány **v₂** a **D₂**.

Potřebná rychlost ve vertikální části odpadního kanálu se vypočítá dle vztahu:

$$v_2 = \frac{Q}{b_2 * D_2} \quad (3.3)$$

kde:

v₂ rychlost proudění vody ve vertikální části odpadního kanálu,

Q průtok vody odpadním kanálem,

b₂ délka profilu ve vertikální části odpadního kanálu,

D₂ šířka profilu ve vertikální části odpadního kanálu.

Po dosazení:

$$v_2 = \frac{37,5}{5,83 * 3,25} = 1,98 [m * s^{-1}]$$

Výsledná rychlost pro posouzení vzniku vtokových vírů z výpočtu vyšla $v_2 = 1,98 [m*s^{-1}]$. Vypočtenou rychlost v_2 a šířku profilu D_2 je nyní možné dosadit do vztahu (3.2) pro výpočet minimální hloubky ponoření stropu přivaděče.

Po dosazení:

$$S_p = 0,545 * 1,98 * 3,25^{0,5} = 1,95 [m]$$

Po dosazení návrhových hodnot do Gordonova vztahu byla vypočtena minimální hloubka ponoření stropu přivaděče $S_p = 1,95 [m]$. Při minimální provozní hladině se nachází strop přivaděče ve hloubce 5,54 m, což zaručí značnou rezervu před vznikem vtokových vírů.

3. Seznam obrázků

Obr. 2.1: Schéma pro provedení výpočtu	5
--	---

DODATEK B: FOTODOKUMENTACE

OBSAH

1. PŘEHLED VÝCHOZÍCH PODKLADŮ	3
2. FOTODOKUMENTACE.....	4

1. Přehled výchozích podkladů

- [1] KUTILEK, Lukáš. Vaňov. In: Youtube [online]. Zveřejněno 7. 3. 2017 [vid. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.youtube.com/watch?v=10eg_GB_A9E&feature=youtube_gdata_player
- [2] DRÁB, Aleš. PVE PODLEŠÍN – Možnosti hydroenergetického využití lokality. Brno, 2016
- [3] SEZNAM. Mapy Seznam [online]. 2016 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: www.mapy.cz

2. Fotodokumentace

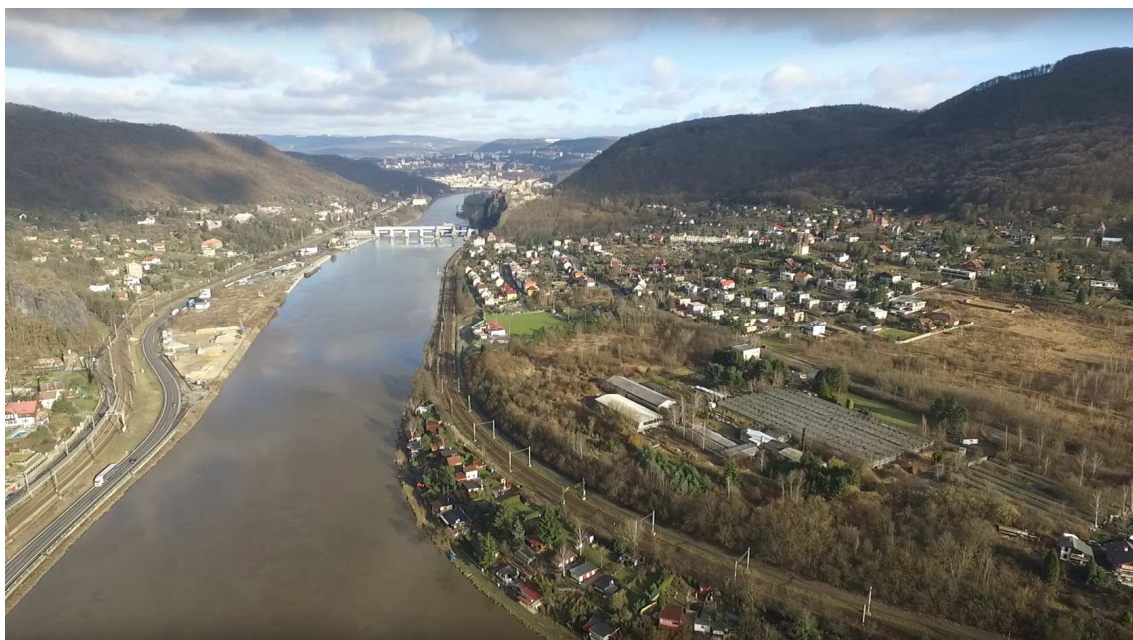


Foto 1 – Celkový pohled na lokalitu záměru (Vaňov) [1]



Foto 2 – Pohled na Zdymadla T. G. Masaryka [2]



Foto 3 – Pohled na veřejný přístav Ústí nad Labem – Vaňov [2]



Foto 4 – Letecký snímek předpokládaného umístění PVE [3]



Foto 5 - Pohled na levý břeh – předpokládané umístění PVE [2]



Foto 6 – Bližší pohled na levý břeh – předpokládané umístění PVE [2]